

基于物联网的尾矿库智能监控中的视觉特征高精度捕获

邬迎^{1,2} 秦盈星¹
WU Ying QIN Yingxing

摘要

因尾矿库地形复杂,摄像头视角多样,不同图像间可能存在显著的透视差异。传统方法在处理尾矿库监控图像时,未充分考虑图像间的透视变换和相机姿态变化,导致捕获的特征点不够准确或稳定,增加了跟踪和监测的难度。为此,文章提出一种基于物联网的尾矿库智能监控中的视觉特征高精度捕获方法。利用物联网技术在尾矿库部署传感器和高清摄像头,以实时采集尾矿库的智能监控视觉数据。针对采集到的包含大量颜色和纹理信息的原始视觉数据,实施灰度化与二值化处理,以减少光照变化及阴影等干扰因素的影响,提高视觉数据质量。在图像的二值化基础上,进一步计算每个像素点的梯度方向和幅值,以有效增强图像中的边缘信息。采用图像匹配算法,在图像中寻找并匹配关键点。基于匹配的关键点构建单应性矩阵,用于校正图像间的透视变换或估算相机姿态。严格筛选并保留匹配度较高的内点(即匹配准确的关键点),将其作为视觉特征捕获点集,实现视觉特征的高精度捕获。实验结果表明,采用该方法后,Pratt 品质因数普遍达到了 0.9 以上,视觉特征捕获精度较高,能够更准确地捕获尾矿库图像中的关键视觉特征,同时有效抑制噪声和保持图像清晰度。

关键词

物联网;尾矿库;智能监控;视觉特征;高精度;捕获

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.12.044

0 引言

在尾矿库监控的众多技术手段中,视觉特征捕获技术以其直观性、全面性和实时性,成为了智能监控系统的核心组成部分。该技术利用先进的图像采集设备,不间断地捕捉尾矿库的影像数据,进而对这些影像中的关键特征进行高精度提取与深入分析,确保了对尾矿库状态的精准评估与及时预警。因此,深入研究尾矿库智能监控领域中的视觉特征高精度捕获方法,具有重要的现实意义。

文献[1]提出的方法通过图像处理技术,对尾矿库区域的图像进行特征提取和识别,对比不同时间点的图像变化,判断尾矿库的状态变化。在将该方法应用于尾矿库监控时,由于透视变换的存在,原本处于同一平面上的特征点在图像中可能会显示出不同的位置和形状。然而,该方法在特征提取阶段并未充分考虑到透视变换的影响,从而会导致提取的特征点出现偏差或错误,从而影响后续对尾矿库状态的准确判断。文献[2]提出的方法通过模板匹配算法,将待识别图

像与模板库中的特征进行比对,实现尾矿库的识别。在处理待识别图像时,由于透视变换和相机姿态的变化,图像中的特征点与模板库中的特征点在形状、大小和位置上可能会有显著的差异。该方法未能充分考虑到透视变换的影响,这可能会导致模板匹配算法的匹配精度降低,甚至可能出现误匹配的情况。

尾矿库地形错综复杂、摄像头视角多变导致的图像间显著透视差异^[3],传统尾矿库监控图像处理方法往往忽视了这一透视变换问题,进而影响了特征匹配的精确性与稳定性。鉴于此,本文创新性地提出了一种基于物联网技术的尾矿库智能监控中的视觉特征高精度捕获方法。

1 尾矿库智能监控中的视觉特征高精度捕获研究

1.1 基于物联网采集尾矿库智能监控视觉数据

根据尾矿库的特点和监控目标,明确需要采集的视觉数据类型和精度要求^[4]。根据监控需求,选择合适的监控摄像头,其配置参数如表 1 所示。

表 1 摄像头配置参数

序号	配置	参数
1	分辨率	4K (3840 px×2160 px)
2	帧率	30 帧/s
3	红外夜视功能	支持,确保夜间监控效果。
4	镜头焦距	可调,根据监控距离和范围进行优化。

1. 郑州经贸学院 河南郑州 451191

2. 河南省多模态感知与智能交互技术工程研究中心

河南郑州 451191

[基金项目] 郑州经贸学院青年骨干教师资助项目“基于物联网的尾矿库智能监控系统的研究与设计”(2022-9); 郑州经贸学院青年科研基金项目“社会网络推荐算法的研究”(QK2209)

根据尾矿库的地形、地貌及潜在风险区域,合理规划监控摄像头的安装位置,在尾矿库的不同位置(如坝顶、边坡、库底等)部署高清摄像头,确保监控范围全面覆盖且重点区域无死角^[5]。按照规划点位,将监控设备安装在合适的位置,并进行调试,确保设备能够正常工作并稳定传输数据。

其次,布设物联网传感器,实时监测环境中的各种参数。物联网传感器的配置参数如表2所示。

表2 物联网传感器配置参数

序号	配置	参数
1	温湿度传感器	精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 湿度精度 $\pm 3\%\text{RH}$, 用于监测尾矿库环境参数。
2	位移传感器	精度 0.1 mm , 用于监测坝体位移变化。
3	渗流监测仪	精度 0.01 L/min , 用于监测尾矿库渗流情况。

在尾矿库的关键位置分别安装温湿度传感器、位移传感器和渗流监测仪等物联网传感器,确保传感器能够准确感知目标参数^[6]。激活摄像头与物联网传感器阵列,实时捕获尾矿库的视觉影像及环境参数等关键信息。随后,对原始视觉数据进行高效压缩,降低传输带宽需求并优化存储空间利用率^[7]。同时,实施数据加密策略,确保数据免受未授权访问。加密后的视觉数据通过网络无缝传输至物联网云平台,平台内部集成先进的数据解析与重组机制,能够准确地接收到的数据包还原为清晰、完整的视觉数据,为后续的分析、监控与决策支持奠定坚实基础。

1.2 尾矿库智能监控视觉数据预处理

尾矿库的环境复杂且多变,光照条件不稳定且受到各种噪声的干扰,导致采集到的图像质量下降,从而影响后续的特征提取和识别过程。为此,在本文中,对采集到的原始视觉数据进行了灰度处理 and 二值化处理,以提高图像数据质量。

对采集的原始视觉图像的灰度化处理旨在通过精细调控其红(R)、绿(G)、蓝(B)三原色分量的信息,全面增强图像的亮度、饱和度与对比度,以优化视觉呈现效果。在图像预处理流程中,首要步骤是将图像送入一个高效的灰度评估模块,该模块采用流水线式设计,旨在深入分析图像在三原色通道上的信息缺失状况^[8]。基于这一分析结果,系统将智能匹配最适合当前图像信息缺失特点的灰度处理算法,以实现精准优化^[9]。本文特别采用了优化的 OTSU 阈值算法对智能监控系统捕获的视觉图像进行灰度化处理,其公式为:

$$R = v_0^2 \frac{|\gamma + r|^2}{2} \quad (1)$$

式中: v_0^2 表示阈值优化常数; γ 表示初始视觉图像在 R 色彩分量上的调节系数; r 表示初始视觉图像在 R 色彩分量上的调节误差。对其进行加权平均处理,其公式为:

$$K = \sum_{i=0}^n \frac{[\xi - f(i)]}{\varphi} \quad (2)$$

式中: φ 表示加权平均系数; ξ 表示初始视觉图像在 G 色彩分量上的调节系数; $f(i)$ 表示初始视觉图像在 G 色彩分量上的调节误差^[10]。在此基础上,对视觉图像作出灰度化处理,其公式为:

$$M = \|qx - \beta\|^2 \quad (3)$$

式中: q 表示彩色尾矿库智能监控中视觉图像灰度化处理常数; x 表示视觉图像在 B 色彩分量上的信息调节系数; β 表示初始视觉图像在 B 色彩分量上的调节误差。通过以上流程,实现视觉图像灰度处理。

在此基础上,设定一个合适的阈值 T 作为分界点,用于图像灰度值的二元划分。随后,遍历图像的每一个像素,将其灰度值与 T 进行比较。若像素的灰度值达到或超过阈值 T ,则将其灰度调整为 255,实现向白色的转换;若低于 T ,则灰度值设为 0,转换为黑色。这一过程即为图像的二值化处理,旨在简化图像信息,便于后续分析或处理。

1.3 视觉特征高精度捕获

通过采用梯度变化分析、非极大值抑制、双阈值处理以及 SIFT 算法等一系列步骤,所提取的特征点集对光照变化、噪声干扰、图像缩放和旋转等具有更强的鲁棒性,能够在复杂环境中稳定工作。因此,本文采用了这些步骤对经过预处理的智能监控视觉数据进行视觉特征的高精度捕捉,以确保在各种条件下都能有效地进行监控。

首先,利用梯度变化提取图像的边缘信息,边缘是图像中重要的特征之一,能够反映物体的轮廓和形状。梯度变化提取表达式为:

$$S_x = \begin{bmatrix} -1, 0, 1 \\ -2, 0, 2 \\ -1, 0, 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$S_y = \begin{bmatrix} -1, -2, -1 \\ 0, 0, 0 \\ 1, 2, 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: S_x 、 S_y 分别表示视觉图像水平方向的梯度分量和垂直方向的梯度分量。为了细化边缘,提高边缘检测的准确性,使用非极大值抑制保留梯度方向上的局部最大值。然后,通过双阈值处理进一步筛选边缘,即设置高阈值 T_h 和低阈值 T_l ,梯度值大于 T_h 的像素被确定为边缘,梯度值小于 T_l 的像素被抑制,位于两者之间的像素则根据其边缘的连通性被保留或抑制。

接下来,采用 SIFT (尺度不变特征变换) 算法精准识别

图像中的关键角点。SIFT 算法通过构建多尺度高斯金字塔来模拟视觉感知变化, 计算梯度方向和幅值来确定关键点的主导方向和辅助方向, 生成 128 维的特征描述符。这些特征描述符具有尺度不变性和旋转不变性, 能够在不同尺度和旋转角度下稳定地表示图像特征^[11]。为定位这些关键点, 算法会对比每个像素点与其周围 (包括上下相邻尺度对应区域) 的像素值, 确保选出的点具有高度的局部独特性。

为实现特征的尺度无关性, SIFT 进一步为每个关键点分配一个或多个主导方向, 增强算法在图像缩放、旋转等变换下的鲁棒性。这一过程涉及图像梯度方向和幅值的计算, 公式分别为:

$$m(x, y) = \sqrt{G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2} \quad (6)$$

$$\theta(x, y) = \arctan\left(\frac{G_y(x, y)}{G_x(x, y)}\right) \quad (7)$$

式中: $m(x, y)$ 表示梯度幅值; G_x 、 G_y 分别表示水平和垂直方向的梯度图; $\theta(x, y)$ 表示梯度方向。梯度直方图的最高峰指示了关键点的主导方向, 同时, 能量超过峰值 80% 的方向也被视为关键点的辅助方向。围绕关键点, 在其对应的尺度空间内选定一个 $16 \text{ px} \times 16 \text{ px}$ 的邻域窗口, 并将此窗口细分为 16 个 $4 \text{ px} \times 4 \text{ px}$ 的子区域。接着, 针对每个子区域, 计算八个方向 (每方向间隔 45°) 的梯度分布, 累积形成梯度直方图。这一过程汇总成一个 128 维 (4×4 子区域 $\times 8$ 方向) 的特征描述符, 即 SIFT 描述子。此描述子不仅捕获了关键点的局部图像细节, 还确保了特征在尺度缩放和旋转变换下的稳定性。它是对局部图像特征的一种高效编码方式, 便于跨图像进行特征的比对与匹配。

在此基础上, 两幅图像中的 SIFT 描述子进行匹配, 以快速找到最近邻匹配点。从匹配点集中随机选择 4 对匹配点, 作为内点假设, 使用这些内点假设估计一个单应性矩阵, 表达式为:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11}, h_{12}, h_{13} \\ h_{21}, h_{22}, h_{23} \\ h_{31}, h_{32}, 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中: h_{ij} 表示待求解的参数。该矩阵构建了图像间像素坐标的映射关系, 揭示了图像空间之间的对应性。在特征匹配的关键阶段, 利用这一矩阵对剩余的候选匹配点进行逐一变换, 评估这些点变换后与目标图像中对应点的偏离程度, 即误差量。若某个点的误差低于预设的阈值, 则将其视为内点, 即视为有效且正确的匹配; 反之, 若误差超出阈值, 则将其归类于外点, 这些外点可能是由于误匹配导致的。

为进一步提升视觉特征捕获的准确性, 引入迭代优化的策略。这一策略要求多次重复上述匹配与评估过程, 每一次

迭代都基于当前筛选出的最优内点集重新估计单应性矩阵, 并据此更新内外点的划分。通过这样的迭代过程, 能够有效剔除那些由误匹配产生的外点, 保留了高质量的内点作为最终的视觉特征捕获点集。上述处理方式不仅显著增强了尾矿库监控图像中关键特征的识别能力, 还极大地提升了智能监控系统的整体性能与可靠性, 为后续的监控分析与决策提供了坚实的数据支持。

2 实验分析

选取 S 大型矿山企业的尾矿库作为样本对象, 该尾矿库占地面积 $5 \times 10^5 \text{ m}^2$, 包含多种金属矿物和非金属矿物, 具有潜在风险区域, 需要实现视觉特征的高精度捕获, 以便及时发现边坡滑坡、渗流加剧等异常情况。

2.1 实验环境配置

为确保实验高效运行, 实验环境包括采用 5G 无线通信技术确保带宽充足, 配备高性能 GPU 图像处理服务器以支撑复杂计算, 利用阿里云计算平台提供海量存储空间, 并统一采用 Ubuntu Server 和 Windows 10 作为服务器与客户端操作系统。同时, 确保尾矿库区域无线网络信号全覆盖且强度达标, 为验证物联网智能监控中的视觉特征高精度捕获方法奠定坚实基础。

实验中, OTSU 阈值算法中的阈值优化常数 0.5, 加权平均系数 0.33, 灰度化处理常数 1.0。二值化处理参数阈值 128。SIFT 算法初始尺度 1.6, 尺度空间层数 4, 每层的层数 3。关键点检测对比度阈值 0.04, 边缘阈值 10。特征描述符生成邻域窗口像素大小均为 16×16 的正方形, 子区域像素大小均为 4×4 的小正方形, 方向直方图 bin 数 8。重投影误差阈值 3.0, 最大迭代次数 1000, 置信度 0.995。

2.2 图像透视变换校正及特征匹配中的性能对比

实验过程中, 收集尾矿库不同视角、不同光照条件下的 10 组监控图像对, 确保每对图像间存在显著的透视差异。将图像对分为两组, 一组用于训练, 另一组用于测试。分析透视变换校正对特征匹配稳定性和准确性的具体影响。以某矿山实拍图为例, 过程如图 1 所示。

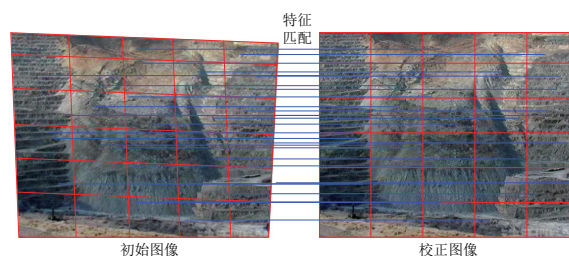


图 1 图像透视变换校正及特征匹配

分析图 1, 通过对尾矿库监控图像进行透视变换校正, 有效消除了由于拍摄角度不同导致的图像畸变, 使得同一场

景在不同视角下的图像更加接近正射投影，并在特征匹配过程中，能够准确地找到对应点。

具体评价指标为特征匹配正确率（FMA），透视变换校正误差（PTE），光照变化敏感度（ILS），阴影干扰抑制比（SIR）。

选择文献[1]中提出的方法（方法A）和文献[4]中提出的方法（方法B）作为对比基准，并与本文所提出的方法（方法C）进行了比较。不同方法的对比结果如表3所示。表3数据显示，本文方法（方法C）在特征匹配准确率（FMA）上显著优于方法A、B，提升精度。透视变换校正误差（PTE）低至0.05 pixel，优于其他方法，确保高精度图像对齐。光照变化敏感度（ILS）低至0.03%，增强鲁棒性，适应不同光照条件。阴影干扰抑制比（SIR）高达99.7%，有效抑制阴影影响。综上所述，方法C在FMA、PTE、ILS及SIR等多项指标上表现卓越，有效消除透视差异，确保尾矿库监控中特征匹配精准稳定，显著提升系统可靠性和准确性，尤其适用于复杂地形和多视角监控场景。

表3 不同方法特征匹配性能的对比分析

评价指标	方法A	方法B	方法C
FMA/%	95.3	94.5	99.6
PTE/pixel	0.13	0.09	0.05
ILS/%	0.25	0.22	0.03
SIR/%	94.3	96.3	99.7

2.3 视觉特征捕获效果分析

随机选取8幅具有代表性的尾矿库智能监控图像，利用这三种方法对图像中的视觉特征边缘进行捕获，并进行了Pratt品质因数的详细分析。对比结果如图2所示。

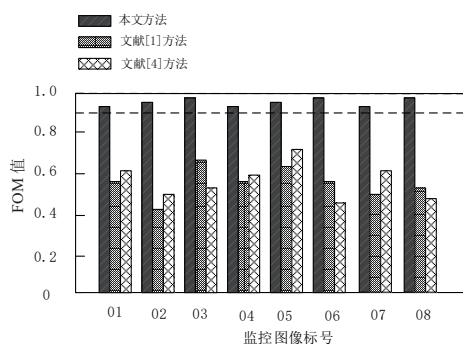


图2 视觉特征 Pratt 品质因数对比结果

图2显示，本文方法的Pratt品质因数稳定在0.9+，接近理想值，可有效精准捕获尾矿库图像特征，减少噪声，提升监控清晰度与效果。这是因为该方法在透视变换得到校正、相机姿态得到准确估算的基础上，通过严格筛选匹配度较高的内点作为视觉特征捕获点集。这种处理方式不仅有效纠正了因透视变形引起的特征点位置偏差，还确保了所捕捉的视觉特征既精准又稳定，能够有效抵御噪声的干扰。

3 结语

本文针对尾矿库复杂地形与多样摄像头视角导致的透视差异问题，创新性地提出基于物联网的智能监控视觉特征捕获方法。通过物联网传感器与高清摄像头实时采集数据，经灰度化、二值化及梯度强化处理，提升图像质量。引入单应性矩阵校正透视变换并估算相机姿态，克服透视差异与姿态变化难题。筛选高匹配关键点，实现高精度视觉特征捕获，Pratt品质因数提升至0.9+，确保监控准确性、可靠性，为尾矿库安全监控提供强有力支持。

参考文献：

- [1] 冯强, 赵佳. VisFEM: 一种基于交叉注意力的双视图视觉特征提取模型 [J]. 长春工程学院学报 (自然科学版), 2024, 25 (1): 64-68.
- [2] 钟冠华, 黄巍. 基于多特征提取网络的视觉关系检测方法研究 [J]. 电脑与电信, 2022(7): 67-70.
- [3] 谭浙予, 叶丽娜. 视频监控图像斑点特征智能提取与仿真 [J]. 计算机仿真, 2023, 40(10): 237-241.
- [4] 吴一非, 杜尚广. 室内空间视觉移动目标特征提取方法仿真 [J]. 计算机仿真, 2022, 39(10): 234-238.
- [5] 李朦朦, 江爱文, 龙羽中, 等. 基于细粒度视觉特征和知识图谱的视觉故事生成算法 [J]. 中文信息学报, 2022, 36 (9): 139-148.
- [6] 宋兰霞, 周作梅, 邓世权. 基于计算机视觉技术的白红比特征提取系统的设计与实现 [J]. 信息记录材料, 2022, 23 (8): 143-145.
- [7] 蒋懿博, 李骋诗. 无关情绪面孔视觉工作记忆表征对注意的捕获: 知觉负载的影响 [J]. 中国临床心理学杂志, 2023, 31(6): 1303-1308.
- [8] 邵海龙, 阮承治, 叶希梅. 基于机器视觉技术的光场尺度空间局部特征提取研究 [J]. 激光杂志, 2022, 43(6): 185-190.
- [9] 付元辰, 马鸣庸, 丁龙阳. 面向室内视觉定位的点特征提取算法比较 [J]. 导航定位学报, 2022, 10(1): 36-40.
- [10] 黄冠恒, 曾碧. 基于运动避免特征提取的动态视觉 SLAM 方法 [J]. 机电工程技术, 2021, 50 (10): 121-126.
- [11] 曹亚媛, 郭秀才, 程勇. 基于视觉模糊的 LBP 鲁棒特征提取与匹配 [J]. 光电子·激光, 2021, 32 (4): 361-372.

【作者简介】

郇迎（1986—），女，河南周口人，硕士，副教授，研究方向：计算机应用。

秦盈星（1991—），男，河南洛阳人，硕士，助教，研究方向：计算机科学与技术。

（收稿日期：2024-09-05）